

PROJECTION ALIGNER

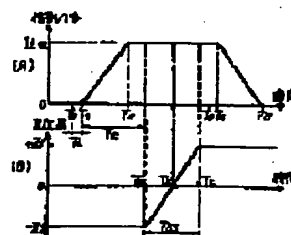
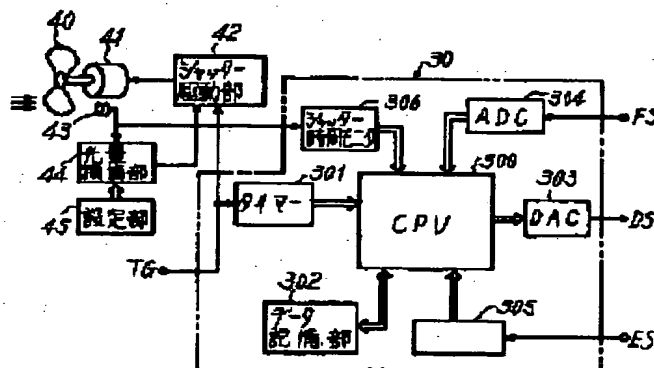
Patent number: JP5166703
Publication date: 1993-07-02
Inventor: SAKAKIBARA YASUYUKI
Applicant: NIKON CORP
Classification:
- international: H01L21/027; G02B27/40; G03B27/32; G03F7/20; G03F7/207
- european:
Application number: JP19910328907 19911212
Priority number(s):

Report a data error here

Abstract of JP5166703

PURPOSE: To improve the position controlling accuracy and reproducibility in the optical axis direction when exposing operations are repeatedly performed under nearly same conditions by finding the interlocking error of an interval changing means (Z stage) by analyzing (learning) the continuity relation of continuous movement of the interval changing means during preceding exposing operations and correcting a parameter.

CONSTITUTION: A CPU 300 subtracts the moving time of a Z-stage, namely, the time difference $T'ss$ between a time count value Tme and another time count value $(Te+T1-T0)$ from actual exposing time $(T5-T1)$ of the first shot. In addition, the CPU 300 finds the $1/2$ value $T'e$ of the time obtained by subtracting the time $T'ss$ from the actual exposing time $(T5-T1)$. It is possible that the $T'e$, $(T5-T1)$, and $(Ta-T1)$ become largely different from each other. Therefore the error amount $DELTA T'e$ between the $T'e$ and $(T5-T1)$ is calculated. When the $DELTA T'e$ exceeds an allowable value, the CPU 300 discriminates that correction is necessary and corrects a parameter in a storing section 302.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-166703

(43) 公開日 平成5年(1993)7月2日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01L 21/027				
G02B 27/40		9120-2K		
G03B 27/32		F 9017-2K		
G03F 7/20	521	7818-2H		
		7352-4M		
			H01L 21/30	311 N

審査請求 未請求 請求項の数1(全12頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平3-328907

(22) 出願日 平成3年(1991)12月12日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 榊原 康之

東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式

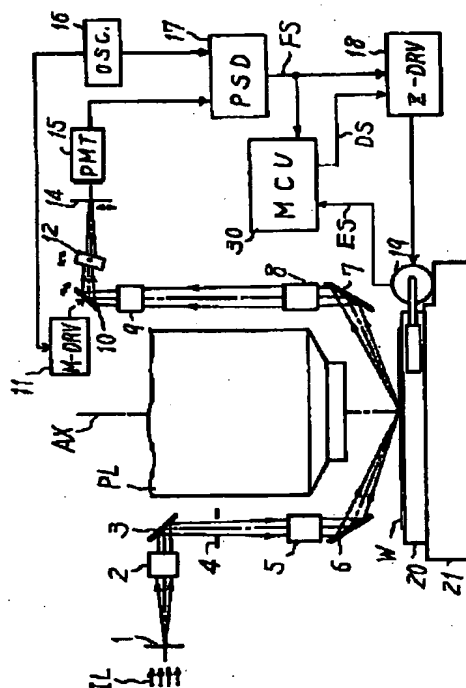
会社ニコン大井製作所内

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【目的】 ウェハ上のショットを順次露光するときの焦点拡大効果を各ショット毎に均一化する。

【構成】 1回の露光動作中にZステージを移動させる焦点拡大法を使い、各ショットへの露光動作(実露光時間)とZステージの移動特性との連動関係をチェックし、連動誤差があるときは、次ショット露光の前に連動関係を規定するパラメータを修正する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスクのパターンを感光基板上の所定領域に結像投影するための投影光学系と、前記感光基板を保持して前記投影光学系の光軸とほぼ垂直な面内で2次元移動させて、前記感光基板上の互いに異なる所定領域の夫々を順次露光するための2次元ステージと、前記投影光学系の結像面と前記感光基板との前記光軸方向に関する相対間隔を連続的に変更する間隔変更手段と、前記所定領域に対して適正露光量を与える露光動作と連動して前記間隔変更手段を動作させる制御手段とを備えた投影露光装置において、

前記感光基板上の先行して露光される所定領域を、予め設定された動作条件で露光したとき、前記間隔変更手段の動作と前記露光動作との連動関係の状態を検知する状態検知手段；該検知された状態が不適正なときは、前記先行する所定領域の後に露光される所定領域に対して、前記制御手段の動作条件を規定したパラメータ、もしくは露光動作の条件を規定したパラメータを修正する修正手段とを備えたことを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は感光基板上に微小パターンを投影露光する際、投影光学系の見かけ上の焦点深度を増加させる露光法を可能にした投影装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、この種の投影露光装置として、例えば特開昭63-64037号公報に開示されているものが知られている。この公報には、半導体ウェハの表面に形成されたレジスト層と、レチクルパターンを投影する投影光学系の像面とを相対的に光軸方向に移動させて多重露光することで、現像されたレジスト像が、あたかも焦点深度の大きい投影光学系を介して転写されたような像質をもつことが開示されている。この場合、上記公報に示された装置では、第1の露光を行った後、ウェハを保持するZステージを光軸方向に一定量だけ移動させてから、同一レチクルパターンで第2の露光を行っている。さらに、Zステージの光軸方向のステップ位置は2点以上であってもよいことが示されている。

【0003】 これと同様に、見かけ上の焦点深度を拡大する効果が得られる手法として、特開昭58-17446号公報に開示されたように、ウェハ上の1ショットの露光動作中にウェハを光軸方向に振動させる方法も知られている。この場合、上記公報には振動の波形が明記されていないが、一般的な正弦波状の振動を考えると、その振動振幅や周波数を適当な値に設定することで、上記特開昭63-64037号公報と全く同様に焦点深度の拡大効果が得られる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところが上記2つの従

2

来技術のうち、光軸方向に互いに分離した複数点の夫々で露光を行う方法では、ウェハ上の1ショットの露光を完了するためのシャッターの開閉動作回数が増えることになり、必然的にスループットが低くなるといった問題が生じる。またウェハを振動させながら露光する方法においては、シャッターの開閉が1回でよいが、その代わりにシャッターの開時間中の振動周波数が丁度整数倍になるように設定する必要がある。さらに上記2つの従来技術において、振動方式であれば振動中心を光軸方向のどの位置に正確に設定するのか、離散的な光軸方向の位置毎に露光する方式であれば、その離散的な面の位置をウェハ面に対してどのように保証するのかについての明確な開示もない。このため従来技術においては、光軸方向（Z方向）の制御精度やスループットの点で、はなはだ不満足なものになっていた。

【0005】 本発明はこのような要求に基づいて成されたもので、スループットの向上を図るとともに、光軸方向の位置制御精度、再現性等を格段に向上させた投影露光装置を得ることを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明においては、マスク（R）のパターンを感光基板（W）上の所定領域（ショット領域）に結像投影する投影光学系（PL）と、投影光学系の光軸（AX）と垂直な面内で感光基板を2次元移動させる2次元ステージ（21）と、投影光学系の結像面（ベストフォーカス面）と感光基板との光軸方向の相対間隔を連続的に変更する間隔変更手段（18～20；102）と、ある所定領域に対して適正露光量を与える露光動作と連動して間隔変更手段を動作させる制御手段（30）とを備えることを前提としている。

【0007】 そして、先行して露光される所定領域を、予め設定された動作条件で露光したとき、間隔変更手段の動作と露光動作との連動関係（時間的タイミング）の状態を検知する状態検知手段（CPU300によるステップ208、210、212、213）と、検知された状態が不適正なときは、次に露光される所定領域に対して、制御手段（30）の動作条件（Zステージのスタートタイミング、速度等）、もしくは露光動作の条件（光源強度の微調整による露光時間）を規定したパラメータを修正する修正手段（CPU300によるステップ214、215）とを設けることを特徴としている。

【0008】

【作用】 本発明では、ほぼ同じ条件で繰り返して露光動作が行なわれるとき、先行する露光動作時における間隔変更手段（Zステージ）の連続移動の連動関係を解析（学習）してその連動誤差を求め、後続の露光動作の際にその誤差分が補正されるようにパラメータを修正するようにした。

【0009】 本発明では、例えばZステージを光軸方向に連続移動させる期間を、1回の露光時間内で正確に設

定することによって、光軸方向の互いに離れた2ヶ所で露光量の重みがほぼ等しい極大値になるようにしたものである。この設定が不正確だと、焦点深度の拡大効果を十分に高めることができなかつたり、またショット毎の拡大効果に差が生じるといった問題があるが、本発明では例えば直前のショット露光での連動関係を学習して、その結果を次のショット露光に反映していくため、ほとんど全てのショットに対して安定した拡大効果が得られる。

【0010】

【実施例】図1は本発明で使用する投影露光装置の概要を示すものであり、照明系の最終段を構成するコンデンサーレンズCLは、半導体焼きつけ用の回路パターンが描画されているレチクルRに均一な照度の照明光を照射する。1/5、又は1/10の縮小投影レンズPLはレチクルRのパターンを両側テレセントリックな条件でウェハW上に投影露光する。ウェハWには不図示の感光層（フォトレジスト）が塗布されており、ウェハホルダーを含むZステージ20上に吸着されている。このZステージ20は投影レンズPLの光軸AX方向（Z方向）に微動可能にXYステージ21上に設けられる。Zステージ20は、通常は正しいフォーカス面（投影レンズPLのレチクルRとの共役面）にウェハWの表面を位置合わせをするために使用され、XYステージ21はレチクルRの投影像とウェハWを光軸AXと垂直な面内で位置決めしたりするために2次元移動する。このZステージ20は投影レンズPLの分解能（開口数N.A.）が向上するに従って減少する有効焦点範囲内により高い精度でウェハWの表面位置決めできるように、例えば0.1 μ m以下の分解能で移動制御される。

【0011】また投影レンズPLは使用環境下での大気圧、気温、及びウェハ処理時の露光パワー、照射光量等々でフォーカス位置や倍率（ディストーション）等の光学性能が変動することが知られている。そのため本実施例の装置では、それら環境条件や露光条件の情報S₁₁を入力し、投影レンズPLの光学性能の変動を算出する変動量モニター100と、その算出された変動量に応じて投影レンズPL内の空気圧を調整する圧力調整器102とを設け、光学性能の変動を補正するようにしている。

【0012】図2は、図1の投影露光装置に設けられる斜入射光式の自動焦点合わせ機構を示し、図3は図2の装置中の制御系のハードウェアとソフトウェアの機構をまとめたブロック図である。まず図2に基づいて、自動焦点合わせ（以下、AFとする）機構について説明する。ウェハW上のレジスト層に対して非感光性で、広い波長幅を有する照明光ILはスリット板1を一様に照明する。スリット板1のスリットを通った光はレンズ系2、ミラー3、絞り4、投射レンズ5、及びミラー6を介して、ウェハWに斜めに入射する結像光束となる。これによって、ウェハW上の投影レンズPLの光軸AXが

通る位置、すなわちレチクルRのパターン像の投影領域の中央には1次元のスリット像が形成される。ウェハWで反射した反射光はミラー7、対物レンズ8、リレーレンズ9、振動ミラー10、及び平行平板ガラス12を介して受光用スリット板14上に結像する。すなわち、ウェハWが光軸方向の所定位置（合焦位置）にきたとき、送光用のスリット板1、ウェハW、及び受光用のスリット板14の3点が相互に共役になるように設定されている。また、以上の送光用スリット板1から受光用スリット板14までの系は、投影レンズPLに対して微動することなく配置されている。ここで、ウェハWが投影レンズPLの最良結像面に一致している（合焦している）とすると、受光用スリット板14上のスリット像は、振動ミラー10の作用で受光用スリット板14のスリットを中心に振動することになる。ウェハWが合焦位置からずれると、スリット板14上のスリット像は振動中心は、スリット板14のスリットから変位してくる。フォトマルチプライヤー（PMT）15は受光用スリット板14を通ってきた光量を光電検出し、その光電信号は同期検波回路（以下PSDとする）17に出力される。また発振器（OSC.）16は、振動ミラー10を駆動するアクチュエータ（M-DRV）11へ周波数fの交流ドライブ信号を出力するとともに、PSD17へ周波数fの基準信号を出力する。PSD17は、OSC.16からの基準信号とPMT15からの光電信号とを入力して、基準信号に対して光電信号を同期検波する。

【0013】この同期検波は、従来からよく知られている光電顕微鏡のものと同じであって、スリット板14上で振動するスリット像の振動中心が、スリット板14のスリット中心と一致したとき、PMT15の光電信号は、OSC.16の発振信号の周波数fの丁度2番の周波数（2f）となり、PSD17の検波出力FSは零になる。この状態からずれると、PSD17はそのずれる方向、すなわち、ウェハWの位置が合焦位置に対して、どちらに変位したかによって、極性が異なる検波出力FSを発生する。

【0014】従ってPSD17の検波出力FSは、合焦状態では零、ウェハWが例えば投影レンズPL側に近づいたとき正、そしてウェハWが投影レンズPLから遠ざかったときに負となる連続した電圧変化を示す。検波出力FSは通常、Sカーブ信号とも呼ばれ、零点近傍には、電圧変化とウェハWのZ方向の位置変化との関係がほぼリニアになる範囲が存在し、この範囲をZステージ20の移動のためのサーボ制御に使う。

【0015】さて、Zステージ20は、XYステージ21上に設けられたモータ19を駆動回路（Z-DRV）18によってサーボ制御することで移動される。通常モードでは、Z-DRV18は、PSD17からの検波出力FSを偏差情報として入力し、その検波出力FSが主制御ユニット（MCU）30からの目標値DSと一致

5

するようにモータ19を駆動する。以上、振動ミラー10、M-DRV11、スリット板14、PMT15、OSC. 16、PSD17、Z-DRV18、モータ19、及びZステージ20によって、自動焦点合わせの閉ループ制御系が構成される。また、モータ19には、Zステージ20の移動量を検出するためのエンコーダ、あるいはポテンショメータ等が組み込まれ、移動量の情報信号ESが出力される。

【0016】尚、AF系の光路中の平行平板ガラス（以下、ハーピングと呼び）12は、ウェハWからの反射光束を、スリット板14上のスリット像の振動方向にシフトさせるように傾けるもので、焦点合わせすべき面を光軸AX方向に所定量だけシフトさせるオフセット機構として働く。さて、本発明の実施例では、投影レンズPLの見かけ上の焦点深度を増大させる方法として、先の特開昭58-17446号公報と同様に、1回の露光動作中（シャッター開放中）にZステージ20を所定の速度特性で光軸方向に連続移動させる。ただし上記公報と異なる点は、1回の露光動作でのZステージ20の移動は下から上、もしくは上から下への一方方向のみにした点である。これはスループットを最大限に高めるためである。

【0017】そこで以下、図3を参照してMCU30の内部の各機能ユニットについて説明する。MCU30は中央演算処理ユニット（CPU）300を中心として構成され、露光時のシャッター開放指令TGに応答して計時を開始するタイマー301、Zステージ20の動作条件を決めるための各種のパラメータが格納されるデータ記憶部302、Z-DRV18へ目標値DSを出力するデジタル-アナログ変換器（DAC）303、PSD17からの検波出力（Sカーブ信号）FSのレベルをデジタル値に変換するアナログ-デジタル変換器（ADC）304、モータ19によるZステージ20の移動量の情報ESをデジタル値として発生する位置検出回路305、及びシャッターが開き始めてから完全に閉じ終わるまでの実時間をモニターする時間モニター部306を備えている。CPU300は、これらのタイマー301、記憶部302、DAC303、ADC304、位置検出回路305、及び時間モニター306との間で相互に情報のやり取りを行なって、一連の動作を実行していく。

【0018】また図2には示していなかったが、投影露光装置の照明光学系内にはロータリーシャッター40が配置され、レチクルRへの照明光の遮断と通過とを切り換える。ロータリーシャッター40は、モータ41によって回転させられ、その制御はシャッター駆動部42により行なわれる。シャッター駆動部42はシャッター開放指令TGに응答して、ロータリーシャッター40のブレードが照明光を遮光しない位置までモータ41を回転させる。シャッター40が開いてレチクルRに照明光が到達するようになると、光電センサー43にもそれに応

6

じた光量で照明光の一部が受光される。その光電信号は光量積算部（インテグレータ）44に入力され、ウェハW上での露光量に相当した積算値が算出される。設定部45には目標露光量（適正露光量）に対応した値がセットされており、積算部44はその目標値と一致したか否かを判断し、一致したときはシャッター駆動部42へシャッター40を閉じるための指令を出力する。これによってウェハWへ与えられる各ショット毎の露光量をほぼ一定にする自動露光制御方式が得られる。

【0019】以上の構成において、レチクルRのパターンをウェハW上の複数のショット領域の夫々に露光するためにXYステージ21はステップアンドリピート方式で移動され、各ショット領域が投影光学系PLの直下に位置決めされると、ただちに露光開始指令TGがホストコンピュータから送られてくる。ただし、ステッピングの後、ダイ・バイ・ダイアライメント、又はサイド・バイ・サイドアライメント等のショット領域毎のアライメントを行なうときは、そのアライメントが完了してから開始指令TGが送られてくる。

【0020】図4は、光電センサー43からの光電信号の波形、すなわち露光動作と、Zステージ20のZ方向（光軸AX方向）の位置変化特性との連動関係を説明するものである。図4（A）は光電センサー43からの光電信号の波形の一例を示し、縦軸は信号レベル、横軸は時間を表わす。図4（A）の波形はレチクルR又はウェハW上での照度変化と一義的に対応したものになっている。図4（A）において、時刻 T_0 でシャッター開放指令TGが発生し、若干の遅れ時間（数ミリ秒程度）の後の時刻 T_1 でシャッター40が照明光を通過させ始める。そしてほぼ一定時間（10～30ミリ秒程度）が経過した時刻 T_2 でシャッター40は全開になり、信号レベルが最大値ILmの状態に停止する。この間、光量積算部44は光電信号レベルの積分動作を続行し、目標値に達した時刻 T_3 でシャッター駆動部42に閉成指令を出力する。そしてほぼ一定のラグタイム（数ミリ秒程度）の後の時刻 T_4 でシャッター40は照明光の遮断を開始し、時刻 T_5 で照明光を完全に遮断して停止する。ここで時刻 T_1 から T_3 までの開放動作時間と、時刻 T_4 から T_5 までの閉成動作時間とはほぼ同じ値になり、また各動作時間、及びラグタイム（ $T_1 - T_0$ 、 $T_4 - T_3$ ）はシャッターの機械特性、電氣的応答性等に応じてほぼ一定の値になる。尚、図3中のシャッター実時間モニター306は、図4（A）中の時刻 T_1 から T_3 までの時間に対応したデジタル値をCPU300に出力するものである。

【0021】図4（B）は図4（A）の露光動作に対して理想的に連動したZステージ20（又はウェハWの表面）のZ（光軸AX）方向の位置変化特性の一例を示し、縦軸はZ位置を表わし横軸は時間を表わす。図4（B）のZ位置の零点は、AF系が合焦点として検出す

7

るベストフォーカス位置を示し、ここではベストフォーカス位置を中心として $\pm Z_1$ の範囲でZステージ20を移動させるものとする。すなわち、1回の露光動作の間、投影光学系PLの最良結像面が図4(B)中の零点の位置に存在すると考えると、これに対してウェハWの表面が位置 $-Z_1$ から位置 $+Z_1$ まで連続的にZ方向へ移動したことになる。図4(B)において、露光開始時にZステージ20は位置 $-Z_1$ にあり、シャッター全開中の時刻 T_0 から速度 V_s で移動し、時刻 T_1 で位置 $+Z_1$ に達して停止する。そしてウェハWの表面が最良結像面(零点)を横切る時刻 T_2 は、時刻 T_0 と T_1 のほぼ中間になり、かつ実効露光時間 $(T_1 - T_0)$ の midpoint になる。

【0022】このように1回の露光動作中にZステージ20を図4(B)のようなタイミング条件のもとに $\pm Z_1$ の範囲内で移動させると、光軸AX方向の微小Z位置毎に得られる露光量の重みは、図5に示すように位置 $-Z_1$ と $+Z_1$ の近傍で極大となり、その間のZ位置では極めて小さなものとなる。この結果、従来の2回露光方式(特開昭63-64037号公報)とほぼ同等の焦点拡大効果が得られる。尚、図5において縦軸はZ位置を表わし、横軸は露光量の重み比率(又は相対重み)を表わす。

【0023】次に、ウェハW上の各ショット領域(被露光領域)に対してステップアンドリピート方式で露光を実行する場合を例にして、本装置の動作を説明する。ただし、ウェハWの第1ショット露光の前に、実時間モニター306、あるいは計算によって、1回の実効露光時間 $(T_1 - T_0)$ はほぼ正確に求められているものとする。また、データ記憶部302には、Zステージ20の露光動作中の速度 V_s 、Zステージ20の振幅 $\pm Z_1$ 等が初期値として記憶されているものとする。尚、振幅 $\pm Z_1$ はオペレータが適宜指定できるものである。

【0024】図3のCPU300は、実効露光時間 $(T_1 - T_0)$ 、速度 V_s 、振幅 $\pm Z_1$ が与えられた時点で、Zステージ20の移動開始時刻 T_0 と停止時刻 T_1 とを決定する。まず、速度 V_s はZステージ固有の値であり、通常はほぼ、最大速度近傍に設定されている。そこで振幅の絶対値 $2Z_1$ と速度 V_s から、時刻 T_0 から T_1 までの時間 T_{10} を $2Z_1 / V_s$ の演算によって求める。ただし、Zステージ20の速度はスタート時、停止時に、設定値 V_s 通りにリニアになることはないの、実際は計算上で求めた時間 T_{10} よりも若干大きな値にする必要がある。

【0025】次にCPU300は、実効露光時間 $(T_1 - T_0)$ から時間 T_{10} を差し引いた値の $1/2$ を求める。この値は時刻 T_1 から時刻 T_0 までの時間(あるいは時刻 T_0 から T_1 までの時間) T_2 に相当し、Zステージ20の移動開始タイミング(時刻 T_0)が特定されたことになる。尚、時刻 T_1 を基準として時刻 T_0 を特

8

定する代りに、シャッター開放指令TGの発生時刻 T_0 を基準としてもよい。その場合、ラグタイム $(T_1 - T_0)$ 分を時間 T_2 に加えておく。

【0026】以上の計算が終わるとCPU300は時間 T_2 、又は $T_2 + (T_1 - T_0)$ の値を初期パラメータの1つとしてデータ記憶部302に保存する。このときCPU300は実効露光時間 $(T_1 - T_0)$ の midpoint 時刻 T_2 までの時間 $(T_2 + T_{10}/2)$ 、又は時間 $(T_2 + T_{10}/2 + T_1 - T_0)$ も算出して初期パラメータの1つとして記憶部302に保存する。

【0027】ところで、図4(B)のようにZステージ20を移動させるために、本実施例ではDAC303から出力される目標値DSを位置 $\pm Z_1$ に対応して変化させるようにした。以下、そのことについて説明する。図6は、PSD17からの検波出力FSの変化特性の一例を示し、縦軸は電圧(レベル)を表わし、横軸はフォーカスのずれ量(ベストフォーカス面とウェハ面とのずれ量) ΔZ を表わす。この検波出力FSは零点(合焦点)を中心に電圧Vとずれ量 ΔZ とがリニアになる範囲が存在し、合焦点からウェハWの表面が位置 $+Z_1$ に変位したとき、検波出力FSは、電圧 $+V_1$ になり、位置 $-Z_1$ に変位したとき電圧 $-V_1$ になる。

【0028】そこでDAC303から出力される目標値DSを $-V_1$ に固定したとすると、ウェハWの表面はベストフォーカス面から $-Z_1$ に位置するようにZステージ20のサーボ制御が行なわれる。図7はZステージ20のモータ19用のZ-DRV18の構成を示し、差動アンプ180は検波出力FSと目標値DSとの差を出力し、差動アンプ181はさらに速度帰還信号 S_v との差をパワーアンプ182に出力する。モータ19はパワーアンプ182のドライブ電圧に応じた速度で回転し、その回転速度はタコジェネレータ183で検出される。帰還回路184はタコジェネレータ183からの検出信号に積分処理、ゲイン補正等を加えて帰還信号 S_v として出力する。この回路は、モータ19のドライブ時に回転速度を安定にする速度フィードバック系であり、本実施例ではCPU300からの指令CDにตอบสนองして帰還回路184からの帰還信号 S_v に対するゲインを極端に低下させる機能を備えている。すなわち速度フィードバック量を最小限に押えた状態を作ることによって、モータ19の回転速度を高め、それによってZステージ20の移動速度 V_s を極力大きくするのである。

【0029】この図7の構成において、目標値DSが零で検波出力FSも零点で安定している状態から、目標値DSを $+V_1$ に変化させると、その瞬間からモータ19は高速に回転し始め、Zステージ20は零点から位置 $+Z_1$ へ向けて移動する。そしてZステージ20が位置 $+Z_1$ にくると、 $DS = FS = +V_1$ で安定し、その系は静定する。従って本実施例では、Zステージ20の振幅は、検波出力FSの特性上でリニアな範囲に限られる

が、焦点深度拡大効果を得るのに最適な振幅は投影光学系PLの焦点深度の幅(例えば $\pm 1 \mu\text{m}$)程度と考えられているので、十分に対応できる範囲である。尚、Zステージ20の振幅をそれ以上にしたいときは、図2に示したハーピング12の傾きをZステージ20の移動帰還中に連続的に変えるようにするとともに、Zステージ20(モータ19)は常に検波出力FSの零点(又は一定の電圧点)が得られるようにサーボ制御すればよい。

【0030】さて、1枚のウェハWに対するステップアンドリピート方式の露光は、図8、図9に示したフローチャートに従って実行される。このフローチャートは主にCPU300で実行されるものであり、また本来は割り込み方式で処理すべきところもあるが、理解を容易にするため単一ルーチンの形で表わしてある。まず、ホストコンピュータはXYステージ21の位置をウェハW上の第1ショット目が露光されるような座標にすべく、ステッピング座標を指定する。これによってXYステージ21は第1ショット目が投影光学系PLからの投影像の位置にくるようにステッピングされる(ステップ200)。このとき、CPU300は、データ記憶部302にセットされた振幅の値に基づいて位置 $-Z_1$ に対応した検波出力FSのレベルと同じ値、すなわち電圧 $-V_1$ を目標値DSとするようなデジタル値をDAC303へ出力する(ステップ201)。これにより、Zステージ20はウェハ表面がベストフォーカス面に対して $-Z_1$ だけ変位するような位置にサーボロックされる。

【0031】XYステージ21、Zステージ20の各位置決めが完了して静定状態になると、ステップ202でシャッター開放(露光開始)指令TGが発生し、シャッター40用のモータ41の駆動が開始され、同時に積算部44の光量積分動作、タイマー301の計時がスタートする。その後CPU300は、ステップ203でタイマー301の計時値を読み込み、ステップ204でその値がZステージ20の駆動スタート時刻 T_0 に達したか否かを判断する。先に図4によって説明したように、開始指令TGが発生してからスタート時刻 T_0 までの時間は、記憶部302内に $T_0 + (T_1 - T_0)$ としてセットされているので、CPU300はステップ204においてタイマー301の計時値が $T_0 + (T_1 - T_0)$ になったか否かを判断する。尚、この間シャッター実時間モニター306はシャッター40が照明光を通過し始める時刻 T_1 から計時をスタートする。

【0032】そして、Zステージ20のスタート時刻 T_0 に達したと判断されると、CPU300はステップ205で目標値DSがZステージ20の位置 $+Z_1$ に対応した電圧 $+V_1$ にするためのデジタル値をDAC303へ出力する。これに伴って図7に示したZ-DRV18は、Zステージ20を位置 $-Z_1$ から位置 $+Z_1$ へ向けてほぼ最高速度で移動を開始する。その後ただちにCP

U300は、PSD17の検波出力FSのレベルをADC304を介して読み込み(ステップ206)、そのレベルがほぼ零になったか否かをステップ207で判断する。尚、検波出力FSがほぼ零になったか否かの検知は、出力FSをウィンドウ幅の狭いゼロ検出コンパレータ等に通し、そのゼロ検出信号(パルス)にตอบสนองしてCPU300に割り込みをかけることで行なった方が現実的である。

【0033】さて、Zステージ20が位置 $+Z_1$ に向けて移動をスタートした直後では、検波出力FSはまだ零点に達しないため、ステップ207の判断はNoになり、CPU300はステップ209へシーケンスを進める。またステップ207で検波出力FSが零と判断されると、CPU300はステップ208でタイマー301の計時値 T_{10} を読み込んでデータ記憶部302に格納する。この計時値 T_{10} は、図4(B)中の時刻 T_1 が実露光時間($T_0 - T_1$)の midpoint に合致していたか否かを後でチェックするために使われる。そしてステップ208の後、CPU300はステップ206へシーケンスを戻す。ここでステップ207からステップ208への条件分岐は1度だけに制限してもよいし、全く制限しなくてもよい。

【0034】こうして検波出力FSが零点を横切った後でZステージ20が位置 $+Z_1$ に達するまでは、ステップ206、207、209のループが実行され、検波出力FSのレベルがステップ205で設定された目標値DS($+V_1$)とほぼ等しくなると、CPU300はステップ210でその時のタイマー301の計時値 T_{10} を読み込んで記憶部302に格納する。その後CPU300はステップ211で第1ショット目の露光動作の終了を待つ。尚、読み込んだ計時値 T_{10} は、図4(B)中のZステージ20の移動を終了時刻 T_2 をチェックするために使われる。

【0035】以上によって第1ショット目の露光が終了すると、CPU300は図9のステップ212で、実時間モニター306から実露光時間($T_0 - T_1$)を読み込んで記憶部302へ格納する。そしてCPU300は次のステップ213でシャッター40の駆動による露光動作とZステージ20の移動制御との連動関係の誤差を解析する。まずCPU300は第1ショット目の実露光時間($T_0 - T_1$)からZステージ20の移動時間、すなわち計時値 T_{10} と計時値($T_0 + T_1 - T_0$)との差分の時間 T_{10}' を差し引く。さらにCPU300は、実露光時間($T_0 - T_1$)から時間 T_{10}' を差し引いた時間の $1/2$ の値 T_{10}'' を求める。この時間 T_{10}'' は、誤差がなければ図4(B)中の時間($T_0 - T_1$)と時間($T_0 - T_2$)の夫々と等しくなるものである。しかしながら、特に第1ショット目に関して言えば、それら三者の値、すなわち時間 T_{10}' 、時間($T_0 - T_1$)、時間($T_0 - T_2$)は互いに大きく異なったものになる可

能性が大きい。

【0036】そこで本実施例では、時間 T_0 と時間 $(T_0 - T_1)$ との誤差分 ΔT_0 を算出し、それが許容量以上か否かを判断するようにする。ここで時間 $(T_0 - T_1)$ は、Zステージ20が位置 Z_1 になったときにステップ210で読み込んだ計時値 T_{10} からシャッター開放スタート時のラグタイム $(T_1 - T_0)$ を引いた値を、実時間モニター306で読み取った実露光時間 $(T_0 - T_1)$ からさらに減算することによって求めることができる。そしてCPU300は、誤差分 ΔT_0 が許容値以上であるときは、ステップ214において修正ありと判断し、ステップ215で記憶部302内のパラメータを修正する。具体的には第1ショット露光前にセットしておいたZステージ20の移動スタートまでの時間 $(T_0 + T_1 - T_0)$ を、誤差分 ΔT_0 で補正した時間 $(T_0 + T_1 - T_0 - \Delta T_0)$ に更新すればよい。

【0037】また別の修正方法としては、第1ショット目の実露光時間 $(T_0 - T_1)$ の1/2の時間と、先のステップ208で読み込んだ計時値 T_{10} からラグタイム $(T_1 - T_0)$ を引いた時間とがほぼ等しいか否かを判断し、その誤差が許容値以上のときは、誤差分 ΔT_0 として時間 $(T_0 + T_1 - T_0)$ に補正を加えることも考えられる。

【0038】次にCPU300は、ステップ216でウェハW上の全ショットに対する露光動作が終了したか否かを判断し、終了していないときは再び図8のステップ200からのシーケンスを実行する。以上のステップ200～216までの一連のシーケンスがウェハW上の各ショット毎に繰り返され、第1ショット目よりは第2ショット目、第2ショット目よりは第3ショット目…という具合に、シャッター40の動作(ショット露光動作)とZステージ20の移動との連動関係の正確さは高められていく。すなわち、常に直前のショット露光時に学習した連動状態を、後続のショット露光時の連動制御に反映させるのである。

【0039】以上、本実施例では、連動関係の最適化を図るために、シャッター動作とZステージの移動との時間的なタイミングを解析するようにしたが、その他、図5のような露光量の重み比率を解析して連動関係の最適化を図ることもできる。またパラメータ修正も時間だけではなく、予め設定されたZステージ20の移動速度 V_s を微妙に変化させることも可能である。

【0040】さらに本実施例では、ウェハ表面がベストフォーカス面を横切る時間 T_{10} をモニターしているので、Zステージ20の速度 μ もある程度特定することができ、それによって速度特性をコントロールするようなパラメータ修正も可能である。Zステージ20は、タイマー301の計時を基準に考えると、ラグタイム $(T_1 - T_0)$ を時間 T_L として、時間 $(T_0 + T_L)$ の経

過後にスタートし、時間 T_{10} で零点を横切り、そして時間 T_{10} で停止する。

【0041】このため理想的には、 $(T_0 + T_L + T_{10}) / 2 = T_{10}$ になるはずである。しかしながらZステージ20のスタート時の速度変化(立上り特性)と停止時の速度変化(立下り特性)とに差があると、その対称性が大きくくずれていることになる。そこでZステージ20が零点を横切る時刻を中心として速度特性の対称性を求め、対称性が悪いときはZステージ20の速度制御を調整するようにすればよい。具体的には図7に示した帰還回路184による速度フィードバック量を、Zステージ20の移動開始点から停止点までの間で変化させるような指令CDを与えればよい。

【0042】ところで、上記の実施例では、ウェハWに対する第1ショット目で得られる深度拡大効果は、必ずしも安定しているとは言えない。そのため第1ショット内のパターン解像が不十分になり、デバイスチップとして不良になることが起こり得る。そこで図10に示すように、ウェハW上に配列されるショット領域のうち、第1ショット目は常にウェハWの周縁で一部欠けてしまうショット S_{11} を露光するように指定するのである。欠けショット S_{11} は本来デバイスチップとして機能しないものであり、この欠けショット S_{11} に対する露光は一種のダミー露光である。尚、図10中の各正方形の中心を結ぶ矢印は、XYステージ21によるステッピング方向を表わしている。また、ウェハ周縁部のレジストも露光しておきたい場合は、周縁部に存在する全ての欠けショットも露光するようにステッピングが行なわれる。そこでパラメータの修正を欠けショットの露光時に行なうようにしてもよい。この場合、正常ショットを露光している間はパラメータ修正を行わず、連続して露光される正常ショットの最後のショットで、図9中のステップ212～215を実行してパラメータ修正を行なうことになる。

【0043】尚、パラメータ修正はZステージ等の速度や駆動タイミング以外に、シャッター40の開時間の調整によっても可動である。その場合、シャッター全開時のレチクルR上での照明光強度を変えることで、適正露光量を得るための実露光時間 $(T_0 - T_1)$ を変えることになる。一般にこの種の装置に使われている光源は水銀放電灯であるため、照明光強度は放電灯への入力電力を変化させることで調整できる。実露光時間 $(T_0 - T_1)$ を変えるパラメータ修正が有効な場合として、高感度レジスト等が使われて、シャッターの全開時間が極めて短くなる場合があげられる。このとき、Zステージ20の移動特性とシャッターの動作特性との連動関係がわずかにずれると、Z位置 $\pm Z_1$ での露光量の重み比率のバランスが大きく異なってしまうことがある。そこで放電灯への入力電力をわずか(例えば10～30%程度)に低下させて、シャッターの全開時間を長くするように

すればよい。

【0044】さらに上記実施例では、Zステージ20を1回の露光動作中に光軸方向に移動すること、すなわち投影レンズPLの最良結像面に対してウェハWの方を光軸方向に移動させるようにしたが、ウェハWは固定しておいて最良結像面の方を光軸方向に移動させてもよい。具体的には図1に示した圧力調整器102への指令値S₁₂に、1回の露光動作中に一定量だけ変化するオフセットを加えればよい。このようにすると、投影レンズPL自体の焦点位置（レチクルRと共役な最良結像面の位置）が微小量だけ変化するため、機械的な駆動を伴うことなく先の実施例と同等の効果が得られる。ただし、1回の露光動作中に加えるべき圧力オフセットの時間変化特性は、図4（B）と同様の傾向になる。

【0045】また機械的な駆動方式として、レチクルRを光軸方向へ移動させたり、投影レンズPL内のレンズ素子を光軸方向に移動させたりすることもできる。特にレチクルRを移動させる場合は、ウェハWを移動させる際の振幅±Z₁に対して投影倍率（1/5、又は1/10）の逆数の二乗倍（25倍、又は100倍）に拡大されるため、機械的駆動制御が楽になるといった利点がある。

【0046】尚、本実施例では図4（A）、（B）に示したように、実露光時間（T₂ - T₁）の中点（時刻T₀）に対して対称的な速度特性でZステージ20を移動させたが、必ずしも実露光時間の中点でウェハ面がベストフォーカス面を横切るように設定しなくてもよい。その場合、図5に示した露光量の重み比率は、Z位置の+Z₁と-Z₁とで異なる大きさをとることになる。このような露光量の重み付けは、露光対象であるレジスト層の厚み、レジスト層の層構造、下地の材料等によってオペレータが適宜変えることに対応したものである。

【0047】また図4（A）に示したシャッター特性のうち、開放動作時間（T₃ - T₁）と閉成動作時間（T₅ - T₄）とが異なる場合は、Z位置+Z₁の各露光量重みを等しく設定したとしても、実露光時間（T₂ - T₁）の中点とウェハ面がベストフォーカス面を横切るタイミングとは若干ずれることになる。特にシャッターの全開時間（T₄ - T₂）が比較的短くなるときには、その傾向が顕著になる。

【0048】

【発明の効果】以上本発明によれば、感光基板上に連続して露光されるショット毎に、ほぼ安定した焦点深度拡大効果が得られることになる。さらに、露光用の照明光の強度が1枚の感光基板を露光していく間にわずかに変動して1ショット当りの露光時間が変化したとしても、それを考慮してパラメータを最適に修正していくので、投影光学系の光軸方向の少なくとも2ヶ所のZ位置で得られる露光量の重みの比率を正確に一定に保った露光が可能になる。さらに1回の露光動作中にZステージを一方方向にしか移動させないため、従来よりもスループットが高いといった効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の前提となる投影露光装置の構成を示す図。

【図2】斜入射光式の焦点検出系とZステージの制御系とを示すブロック図。

【図3】露光制御部と主制御部との構成を示す機能ブロック図。

【図4】シャッター特性とZステージの移動特性とを示すグラフ。

【図5】光軸方向の露光量の重み比率の一例を示すグラフ。

【図6】同期検波出力信号の波形を示す図。

【図7】Zステージの駆動回路の構成を示す図。

【図8】動作例を示すフローチャート図。

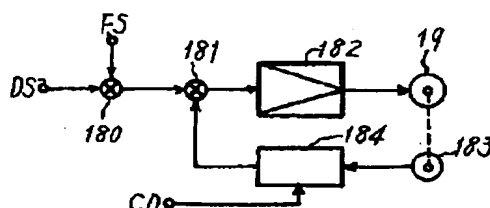
【図9】動作例を示すフローチャート図。

【図10】ウェハ上の露光順序を示すショット配列図。

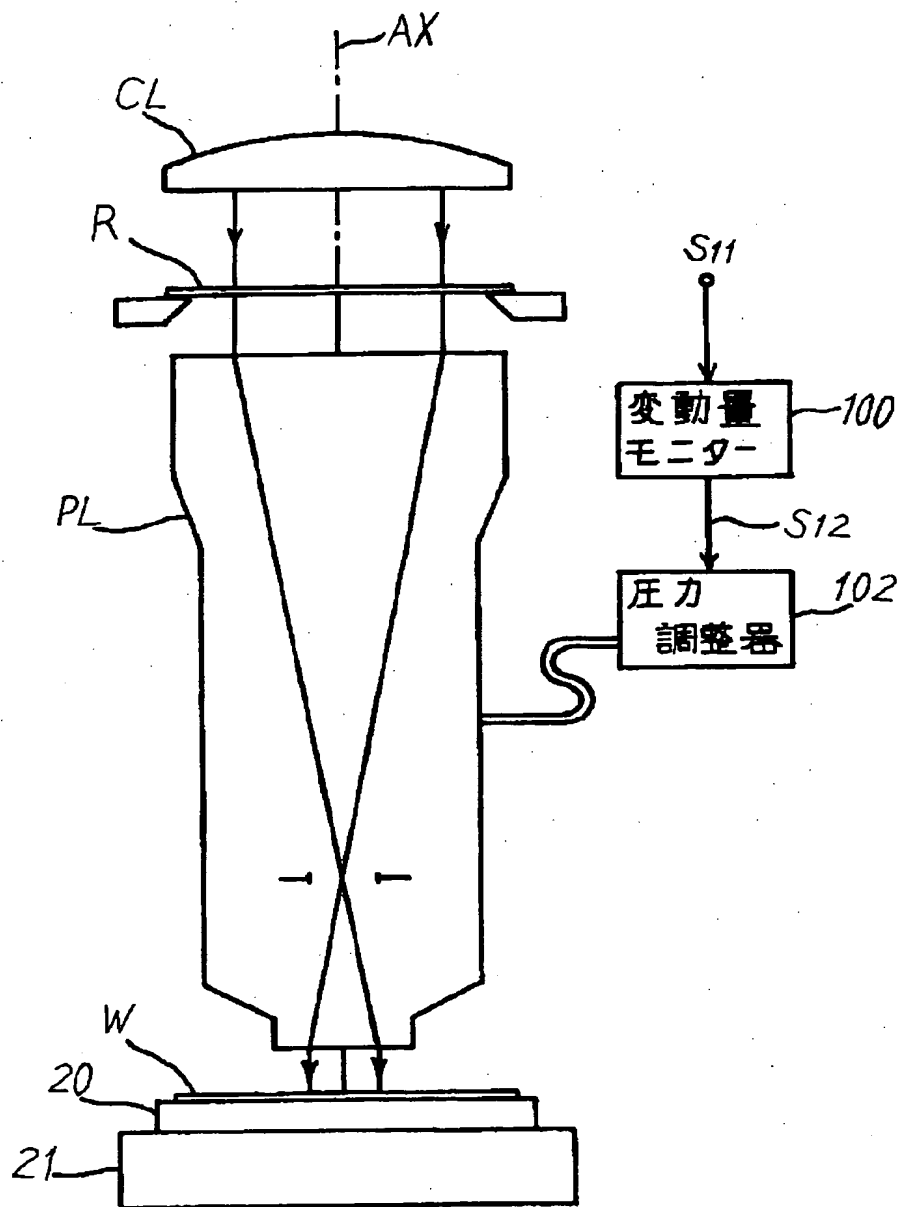
【主要部分の符号の説明】

R レチクル
W ウェハ
PL 投影レンズ
AX 光軸
FS 同期検波出力
18 Zステージ駆動部
20 Zステージ
40 シャッター
306 実露光時間モニター
302 データ記憶部

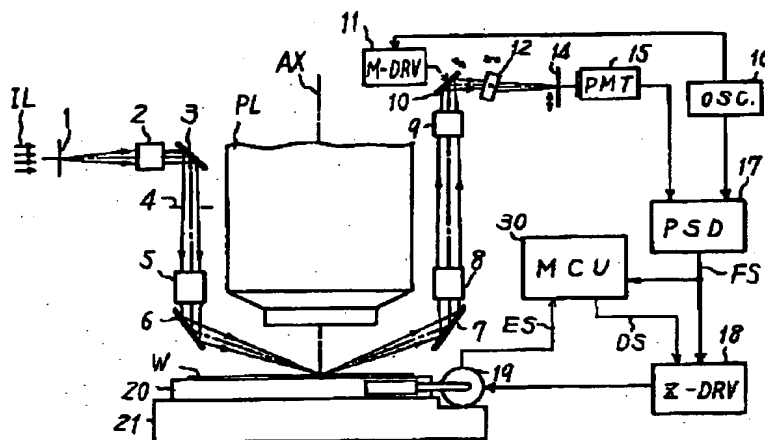
【図7】



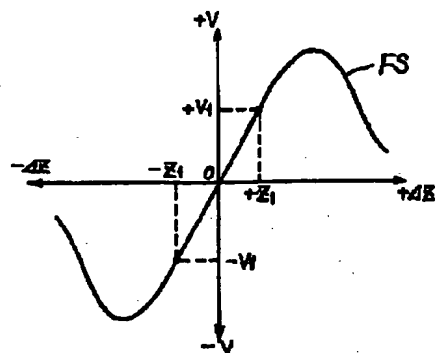
【図1】



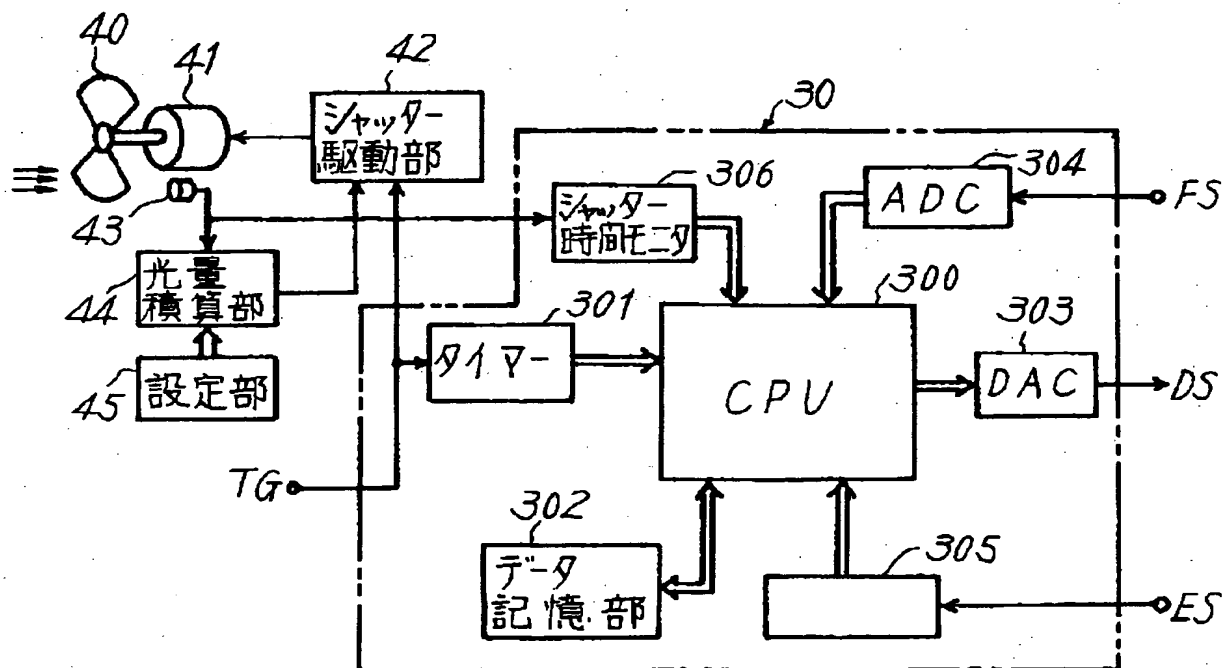
【图 2】



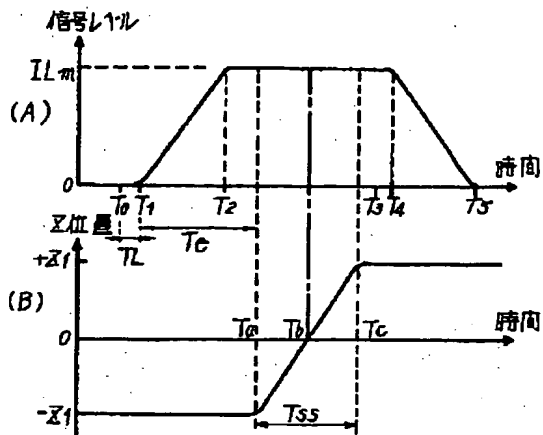
【图 6】



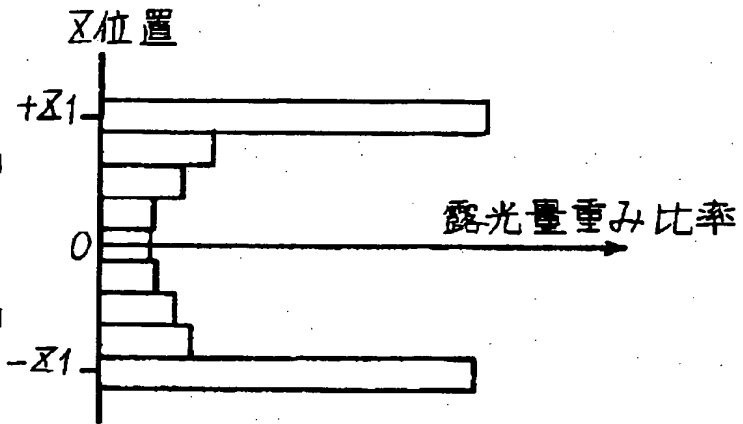
【图 3】



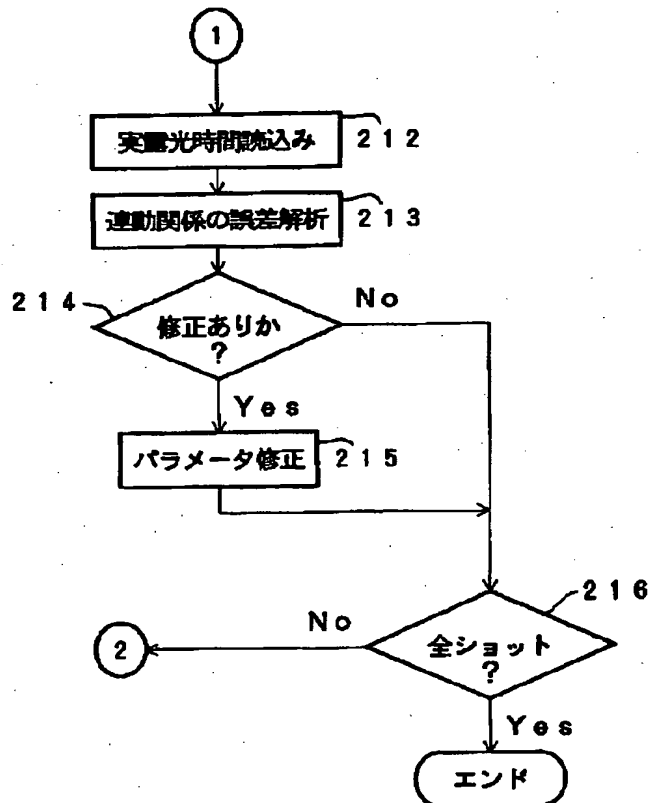
【図4】



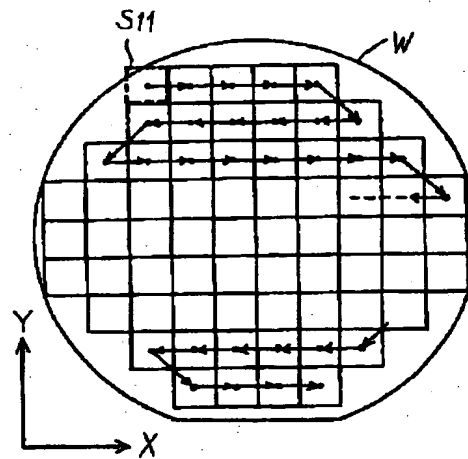
【図5】



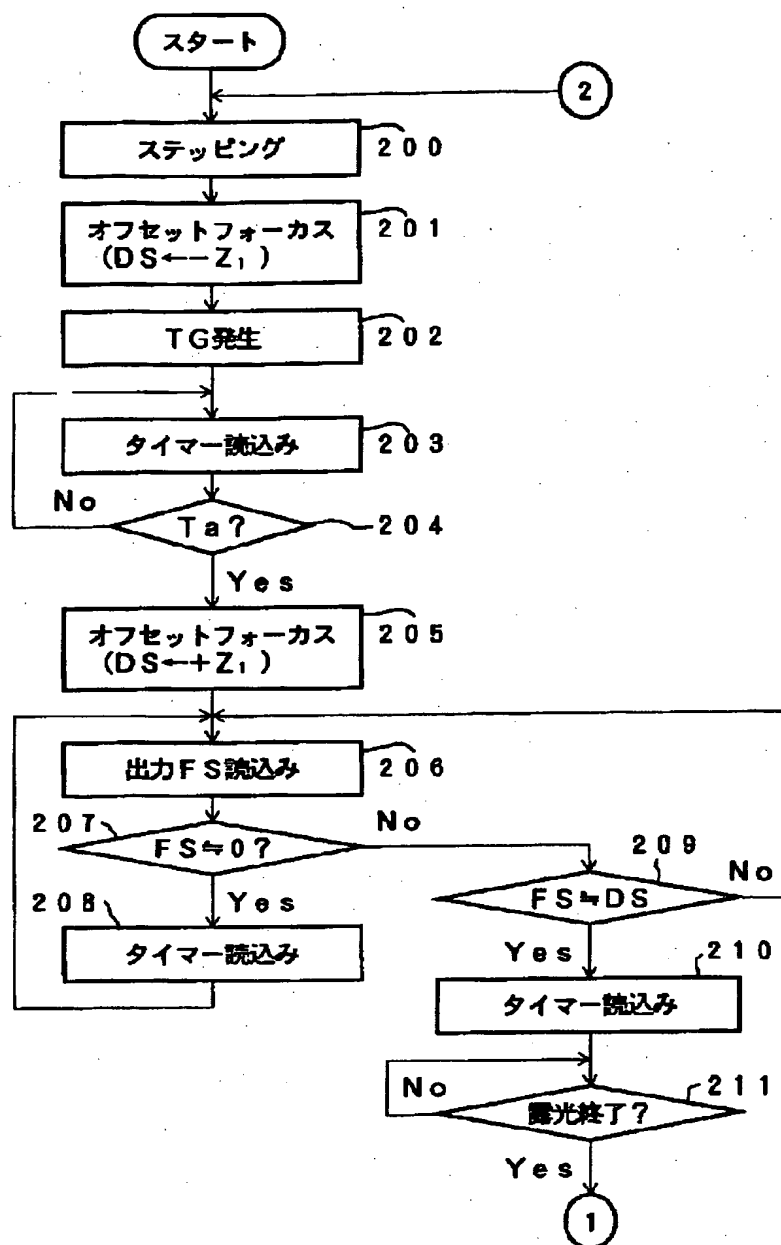
【図9】



【図10】



【図8】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁵

G 0 3 F 7/207

識別記号 庁内整理番号

H 7818-2H

F I

技術表示箇所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.